饲粮不同磷水平和钙磷比对冬毛期水貂生长性能、营养物质消化率及氮、钙、磷代谢的影响影[1]

刘　帅　张铁涛　邢敬亚　李欣彤　陈明帅　孙皓然　岳志刚　杨福合*

（中国农业科学院特产研究所，特种经济动物分子生物学国家重点实验室，长春 130112）

摘　要：本试验旨在研究饲粮不同磷水平和钙磷比对冬毛期水貂生长性能、营养物质消化率及氮、钙、磷代谢的影响。选取（130±10）日龄体重相近的健康雌性水貂 90 只，随机分为 9 组，每组 10 个重复，每个重复 1 只。采用 3×3 双因子试验设计，设 3 个磷水平分别为 1.0%、1.4%、1.8%，3 个钙磷比分别为 1.0、1.5、2.0，配制 9 种试验饲粮，9 种试验饲粮的钙、磷水平如下：1.03%钙、0.97%磷（Ⅰ组），1.47%钙、0.98%磷(Ⅱ组)，1.98%钙、0.99%磷（III组），1.45%钙、1.37%磷（Ⅳ组），2.08%钙、1.38%磷（Ⅴ组），2.79%钙、1.38%磷（Ⅵ组），1.81%钙、1.75%磷(Ⅶ组)，2.70%钙、1.79%磷（Ⅷ组），3.59%钙、1.80%磷（Ⅸ组）。预试期 10 d，正试期 67 d。结果表明：1）饲粮磷水平和钙磷比以及二者的交互作用极显著影响冬毛期水貂的末重、平均日增重（$P<0.01$）。Ⅴ组的末重、平均日增重极显著高于其他组（$P<0.01$）。2）干物质、蛋白质、脂肪消化率有随着饲粮钙磷比和磷水平的升高先增加后降低的趋势，且均在III组达到最大值。3）饲粮磷水平和钙磷比以及二者的交互作用对冬毛期水貂食入氮、尿氮、粪氮、氮沉积、净蛋白质利用率、蛋白质生物学价值的影响不显著（$P>0.05$）。4）随着饲粮磷水平的升高，粪钙含量随之增加，组间差异极显著（$P<0.01$）；Ⅷ、Ⅸ组粪钙含量显著或极显著高于除Ⅶ组外的其他各组（$P<0.05$ 或 $P<0.01$）。随着饲粮磷水平的升高，粪磷含量随之增加，组间差异显著或极显著（$P<0.05$ 或 $P<0.01$）；饲粮钙磷比为 2.0 时粪磷含量最低，极显著低于饲粮钙磷比为 1.0 和 1.5 时（$P<0.01$）；Ⅷ、Ⅸ组粪磷含量显著或极显

收稿日期：2016-04-29
基金项目：特种经济动物种质资源共享平台项目(201301)；中国农业科学院特产研究所科技创新工程专项经费
作者简介：刘　帅（1991-），男，山东泰安人，硕士研究生，从事动物营养与饲料科学研究。E-mail：694851908@qq.com
*通信作者：杨福合，研究员，博士生导师，E-mail：　yangfh@126.com

著高于除Ⅶ组外的其他各组（*P*<0.05 或 *P*<0.01）。饲粮磷水平和钙磷比极显著影响钙消化率（*P*<0.01）。随着饲粮钙磷比的升高，钙消化率极显著升高（*P*<0.01）。Ⅲ组钙消化率最高，极显著高于除Ⅵ和Ⅸ组外的其他各组（*P*<0.01）。饲粮磷水平和钙磷比对磷消化率影响不显著（*P*>0.05），但二者的交互作用对磷消化率有显著影响（*P*<0.05）。磷消化率以Ⅰ组最低，Ⅲ组最高。综合各项指标，从降低饲粮成本、保护环境和维持冬毛期水貂生长性能的角度出发，饲粮磷水平在 1.4%，钙磷比在 1.5～2.0 时较为适宜。

关键字：钙磷比；水貂；生长性能；氮代谢；钙代谢；磷代谢

中图分类号：S816　　　　文献标识码：A　　　　文章编号：

钙和磷都是动物机体所必需的常量矿物质元素，钙、磷含量的高低会直接影响动物的生长发育情况，同时磷也是继蛋白质和能量以外的第 3 种最昂贵的饲料原料[1-2]。适宜的钙、磷摄入量可促进钙、磷的吸收和在骨骼中的沉积，钙磷比过高或过低均影响钙、磷的吸收和沉积。过量的磷不能被动物完全吸收，排出体外会造成严重的环境污染[3]。朱晓英[4]研究表明，饲粮总磷含量过低会降低产蛋率和平均蛋重，蛋壳品质和骨重也下降。陆昌华[5]总结发现母猪饲粮钙磷比在 1～2 时生长较理想。Qian 等[6]研究表明，随着饲粮钙磷比比由 1.2 上升到 2.0，生长猪骨强度和骨灰含量极显著降低。饲粮钙、磷水平会影响动物的生长性能，但在水貂上有关钙、磷需要量的研究较少。水貂钙、磷摄入量过多或缺乏都会影响骨骼正常发育，缺乏还会导致牙龈肿大、牙齿松动、嘴鼻变大等[7]。关于水貂饲粮钙磷比，万春孟等[8]在研究冬毛期水貂精氨酸添加量时设定基础饲粮中总磷水平为 1.43%，钙磷比为 1.7；张铁涛等[9]在研究冬毛期水貂蛋白质水平时设定基础饲粮中总磷水平最低为 2.10%，钙磷比为 1.1。与鲜饲料相比，干饲料具有不需冷藏、成本低廉的优点。因此，本试验在采用干饲料的基础上，通过在水貂饲粮中添加不同水平的钙、磷，研究饲粮不同磷水平和钙磷比对冬毛期水貂生长性能、营养物质消化率及氮、钙、磷代谢的影响，以筛选出冬毛期水貂饲粮适宜的钙、磷水平，为指导实际生产提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 试验动物

本试验随机选择健康、体重相近的（130±10）日龄雌性水貂 90 只，随机分为 9 组，每组 10 个重复，每个重复 1 只。

1.2 试验设计与试验饲粮

采用 3×3 双因子试验设计，通过查阅近期相关文献[8-9]，并结合生产实际，确定 3 个磷水平分别为 1.0%、1.4%、1.8%，3 个钙磷比分别为 1.0、1.5、2.0。按照试验设计，并参照前人对水貂营养需要量的研究结果[8-9]配制 9 种试验饲粮（表 1），9 种试验饲粮的钙、磷水平如下：1.03%钙、0.97%磷（Ⅰ组），1.47%钙、0.98%磷(Ⅱ组)，1.98%钙、0.99%磷（III 组），1.45%钙、1.37% P（Ⅳ组），2.08%钙、1.38%磷（Ⅴ组），2.79%钙、1.38%磷（Ⅵ组），1.81%钙、1.75%磷(Ⅶ组)，2.70%钙、1.79%磷（Ⅷ组），3.59%钙、1.80%磷（Ⅸ组）。预试期 10 d，正试期 67 d。饲养试验地点为农业部长白山野生生物资源重点野外科学观测试验站。

1.3 饲养管理

试验开始前，对水貂接种犬瘟热和细小病毒疫苗。试验水貂均单笼饲养，每日 07:30 与 15:30 各饲喂 1 次，自由采食，自由饮水，每日记录实际采食量。正式试验开始后，每隔 15 d 于晨间空腹称重，每日观察并记录试验水貂的健康状况。

表 1　试验饲粮组成及营养水平（风干基础）

Table 1　Composition and nutrient levels of experimental diets（air-dry basis）　　%

项目	组别 Groups								
Items	Ⅰ	Ⅱ	Ⅲ	Ⅳ	Ⅴ	Ⅵ	Ⅶ	Ⅷ	Ⅸ
原料 Ingredients									
膨化玉米粉 Extruded corn meal	24.30	23.00	22.60	25.70	24.40	22.80	22.20	21.80	19.50

膨化大豆 Extruded soybean	18.00	18.00	17.00	17.00	17.00	15.00	16.00	15.00	12.00
玉米蛋白粉 Corn gluten meal	20.00	19.00	18.00	14.00	10.00	11.00	16.00	11.00	11.00
鱼粉 Fish meal	17.80	17.00	16.00	17.00	18.00	17.20	14.00	18.00	17.00
肉骨粉 Meat and bone meal	2.00	3.00	4.00	8.00	12.00	12.80	6.00	12.50	14.50
乳酪粉 Cheese meal	3.40	4.00	5.00	4.00	3.40	4.00	10.00	4.00	6.00
预混料 Premix1)	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
赖氨酸 Lys	0.20	0.35	0.35	0.35	0.35	0.35	0.35	0.35	0.35
蛋氨酸 Met	0.20	0.35	0.35	0.35	0.35	0.35	0.35	0.35	0.35
食盐 NaCl	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10
石粉 Limestone		1.20	2.60		1.40	3.40		1.50	4.00
磷酸氢钙 $CaHPO_4$				0.50			3.00	2.40	2.20
豆油 Soybean oil	13.00	13.00	13.00	12.00	12.00	12.00	11.00	12.00	12.00
合计 Total	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00
营养水平 Nutrient levels2)									
代谢能 ME/（MJ/kg）	13.60	13.50	13.35	13.42	13.24	13.00	13.60	13.21	12.99
粗蛋白质 CP	32.71	32.58	31.91	32.04	31.97	31.90	32.02	32.13	32.06
粗脂肪 EE	19.28	19.47	19.66	18.95	19.24	19.18	19.12	19.18	19.52
钙磷比 Ca/P ratio	1.06	1.49	2.00	1.05	1.51	2.02	1.03	1.50	2.00

钙 Ca	1.03	1.47	1.98	1.45	2.08	2.79	1.81	2.70	3.59
磷 P	0.97	0.98	0.99	1.37	1.38	1.38	1.75	1.79	1.80

[1)]预混料为每千克饲粮提供 The premix provided following per kg of diets：VA 10 000 IU，VD_3 2 000 IU，VE 100 IU，VB_1 6 mg，VB_2 10 mg，VB_6 6 mg，VB_{12} 0.1 mg，VK_3 1 mg，VC 400 mg，烟酸 nicotinic acid 30 mg，泛酸 pantothenic acid 40 mg，生物素 biotin 0.2 mg，叶酸 folic acid 1 mg，胆碱 choline 400 mg，Fe 82 mg，Cu 20 mg，Mn 120 mg，Zn 50 mg，I 0.5 mg，Se 0.2 mg，Co 0.3 mg。

[2)]粗蛋白质、粗脂肪、钙、磷为测定值，其他营养水平为计算值。Values of CP, EE, Ca and P were measured, while the other nutrient levels were calculated values.

1.4 消化代谢试验

试验开始 42 d 后，每组挑选 6 只体重相近的水貂进行消化代谢试验，消化代谢试验时间为 2015 年 10 月 27 日至 2015 年 10 月 30 日，共计 4 d。采用全收粪法，消化代谢试验期间饲养管理与日常饲养管理相同。每天收集尿液，尿液收集前在收集桶内加入 10%硫酸溶液 20 mL 固氮，测定尿液中的氮含量。每天收集的粪便称重后按鲜重的 5%加入 10%硫酸溶液，并加少量甲苯防腐，保存于-20 ℃备用。将 4 d 的尿液和粪便分别混合均匀后取样，其中粪便先在 80 ℃下杀菌 2 h，然后降到 65 ℃烘干至恒重，磨碎过 40 目筛，制成风干样本，以备实验室分析。

1.5 测定指标及方法

正试期开始后，以第 1 天称重作为初重，然后每隔 15 d 在早晨饲喂之前空腹称重，以试验结束后称重作为末重，计算每只水貂的日增重以及每组的平均日增重（ADG）；记录每只水貂每天的给料量和残余料量，计算每只水貂的采食量以及每组的平均日采食量（ADFI）；根据平均日增重和平均日采食量计算料重比（F/G）。

样品分析：105 ℃烘干法测定干物质含量，参考 GB/T 6435—2006；索氏浸提法测定粗脂肪含量，参考 GB/T 6433—2006；凯氏定氮法测定粗蛋白质含量，参考 GB/T 6432—1994。

乙二胺四乙酸（EDTA）滴定法测定钙含量，参考 GB/T 6436—2002；钒钼酸铵比色法测定磷含量，参考 GB/T 6437—2002。

1.6 计算公式

平均日增重（g/d）＝（末重－初重）/试验天数；

平均日采食量（g/d）＝试验期采食量/试验天数；

料重比＝平均日采食量/平均日增重；

干物质消化率（%）＝［(干物质采食量－干物质排出量）/干物质采食量]×100；

蛋白质消化率（%）＝［(蛋白质摄入量－蛋白质排出量）/蛋白质摄入量]×100；

脂肪消化率（%）＝［(脂肪摄入量－脂肪排出量）/脂肪摄入量]×100；

钙消化率＝［(钙摄入量－钙排出量）/钙摄入量]×100；

磷消化率＝［(磷摄入量－磷排出量）/磷摄入量]×100；

氮沉积（g/d）＝食入氮－粪氮－尿氮；

净蛋白质利用率（%）＝（氮沉积/食入氮）×100；

蛋白质生物学价值（%）＝［氮沉积/（食入氮－粪氮)］×100。

1.7 数据处理

数据用 Excel 2010 进行整理并用 SAS 8.0 软件中的一般线性模型（GLM）程序进行双因素有交互作用方差分析，采用 Duncan 氏法进行多重比较，P<0.05 为差异显著，P<0.01 为差异极显著。

2 结 果

2.1 饲粮不同磷水平和钙磷比对冬毛期水貂生长性能的影响

由表 2 可知，冬毛期水貂各组间平均日采食量差异不显著（P>0.05）。饲粮磷水平和钙磷比以及二者的交互作用极显著影响冬毛期水貂的末重、平均日增重和料重比（P<0.01）。Ⅴ组末重显著或极显著高于其他组（P<0.05 或 P<0.01）。平均日增重以Ⅴ组最高，Ⅳ组最低，

并且平均日增重有先随着钙磷比的升高而增加，在钙磷比为 1.5 时达到最大后再下降的二次变化趋势。料重比表现为Ⅳ组极显著高于其他各组（P<0.01），Ⅴ组极显著低于其他组（P<0.01）。

表 2　饲粮不同磷水平和钙磷比对冬毛期水貂生长性能的影响

Table 2　Effects of different dietary P levels and Ca/P ratios on growth performance of minks during winter fur-growing period

项目 Items		始重 Initial weight/g	末重 Final weight/g	平均日增重 ADG/（g/d）	平均日采食量 ADFI/（g/d）	料重比 F/G
组别 Groups	Ⅰ	974.1	1 006^{BCcd}	0.55^{De}	77.82	150.21^{Bb}
	Ⅱ	973.0	1 014^{BCcd}	0.66^{CDde}	76.46	104.35^{Ccd}
	Ⅲ	972.0	1 023^{BCbc}	0.77^{BCc}	81.73	106.14^{CDcd}
	Ⅳ	972.2	974^{De}	0.14^{Ef}	76.82	602.38^{Aa}
	Ⅴ	975.3	1 083^{Aa}	1.55^{Aa}	77.35	45.32^{Ef}
	Ⅵ	975.1	1 036^{BCbc}	0.94^{BCb}	82.69	90.09^{CDde}
	Ⅶ	972.0	1 044^{Bb}	1.05^{Bb}	80.79	78.65^{De}
	Ⅷ	973.1	1 014^{BCcd}	0.64^{CDde}	80.62	115.76^{BCc}
	Ⅸ	972.0	1 023^{BCbc}	0.77^{BCc}	71.11	89.86^{CDde}
磷水平	1.0	973.2	1 014^{C}	0.66^{C}	79.00	110.00^{A}
P level/%	1.4	974.4	1 031^{A}	0.88^{A}	78.78	78.96^{C}
	1.8	973.0	1 027^{B}	0.82^{B}	77.51	94.09^{B}
钙磷比	1.0	973.0	1 008^{C}	0.58^{C}	79.14	127.65^{A}

Ca/P ratio	1.5	973.5	1 037^{A}	0.95^{A}	77.97	85.08^{C}
	2.0	973.0	1 027^{B}	0.83^{B}	78.18	98.23^{B}
P 值 *P*-value	组别 Group	1.000 0	<0.000 1	<0.000 1	0.056 2	<0.000 1
	磷水平 P level	1.000 0	<0.000 1	<0.000 1	0.102 1	<0.000 1
	钙磷比 Ca/P ratio	1.000 0	<0.000 1	<0.000 1	0.076 8	<0.000 1
	交互作用 Interaction	1.000 0	<0.000 1	<0.000 1	0.121 1	<0.000 1

同列统一项目数据肩标无字母或相同字母表示差异不显著(P>0.05)，不同小写字母表示差异显著(P<0.05)，不同大写字母表示差异极显著(P<0.01)。下表同。

In the same column and the same item, values with no letter or the same letter superscripts mean no significant difference (P>0.05), while with different small letter superscripts mean significant difference (P<0.05), and with different capital letter superscripts mean significant difference (P<0.01). The same as below.

2.2 饲粮不同磷水平和钙磷比对冬毛期水貂营养物质消化率的影响

由表 3 可知，各组水貂的干物质采食量、干物质排出量以及干物质、蛋白质和脂肪消化率均差异不显著（P>0.05）。干物质、蛋白质、脂肪消化率有相同的变化规律，即随着饲粮钙磷比和磷水平的升高先升高后降低。

表 3 饲粮不同磷水平和钙磷比对冬毛水期貂营养物质消化率的影响

Table 3 Effects of different dietary P levels and Ca/P ratios on nutrient digestibility of minks during winter fur-growing period

项目 Items	干物质采食量 DM	干物质排出量 DM output/g	干物质消化率 DM digestibility/%	蛋白质消化率 Protein digestibility/%	脂肪消化率 Fat digestibility/%

		intake/g				
组别 Groups	Ⅰ	78.82	24.85	68.64	64.67	81.47
	Ⅱ	81.92	23.86	70.92	68.14	86.59
	Ⅲ	84.69	22.49	73.21	72.46	82.51
	Ⅳ	82.78	24.38	70.48	67.78	85.02
	Ⅴ	83.62	24.45	70.42	69.86	86.38
	Ⅵ	72.11	21.68	70.75	68.22	83.86
	Ⅶ	81.67	26.46	67.57	65.85	82.68
	Ⅷ	88.19	24.90	71.45	69.01	88.13
	Ⅸ	85.22	30.69	64.15	63.22	82.14
磷水平	1.0	81.82	23.74	70.92	68.39	83.72
P level/%	1.4	80.46	23.74	70.53	68.85	85.32
	1.8	84.73	27.00	68.01	66.01	84.36
钙磷比 Ca/P	1.0	80.97	25.29	68.78	65.84	82.76
ratio	1.5	84.16	24.34	70.90	68.94	86.93
	2.0	81.40	24.51	70.07	68.30	82.78
P 值 *P*-value	组别 Group	0.521 6	0.483 4	0.462 2	0.641 3	0.836 8
	磷水平 P level	0.340 3	0.108 4	0.253 0	0.542 3	0.840 0
	钙磷比 Ca/P ratio	0.535 8	0.899 0	0.553 7	0.534 5	0.216 1
	交互作用 Interaction	0.357 1	0.457 6	0.359 8	0.484 8	0.969 3

2.3　饲粮不同磷水平和钙磷比对冬毛期水貂氮代谢的影响

由表 4 可知，饲粮磷水平和钙磷比以及二者的交互作用对冬毛期水貂的食入氮、尿氮、粪氮、氮沉积、净蛋白质利用率、蛋白质生物学价值的影响不显著（*P*>0.05）。III组氮沉积、净蛋白质利用率、蛋白质生物学价值高于其他组，但差异不显著（*P*>0.05）。随着饲粮钙磷比的升高，氮沉积、净蛋白质利用率、蛋白质生物学价值随之升高。

表 4　饲粮不同钙磷添加水平对冬毛期水貂氮代谢的影响

Table 4　Effects of different dietary P levels and Ca/P ratios on nitrogen metabolism of minks during winter fur-growing period

项目 Items		食入氮 Nitrogen intake/（g/d）	尿氮 Urine nitrogen/（g/d）	粪氮 Fecal nitrogen/（g/d）	氮沉积 Nitrogen deposition/（g/d）	净蛋白质利用率 NPU/%	蛋白质生物学价值 BV of protein/%
组别 Groups	Ⅰ	3.91	1.09	1.39	1.41	36.62	56.80
	Ⅱ	4.06	1.11	1.31	1.65	40.64	59.81
	Ⅲ	4.20	0.72	1.15	2.51	56.75	77.12
	Ⅳ	4.19	1.27	1.25	1.94	46.49	59.52
	Ⅴ	4.15	1.16	1.23	1.93	40.95	58.16
	Ⅵ	3.59	1.06	1.17	1.55	47.54	60.76
	Ⅶ	4.05	1.29	1.37	1.69	40.31	61.01
	Ⅷ	4.18	1.27	1.15	1.67	40.50	62.39
	Ⅸ	4.22	1.09	1.60	2.15	51.81	73.02
磷水平 P level/%	1.0	4.06	0.99	1.28	1.83	44.10	63.90
	1.4	4.01	1.12	1.22	1.83	44.68	59.38

	1.8	4.15	1.23	1.36	1.80	43.04	64.30
钙磷比	1.0	4.05	1.75	1.35	1.70	41.08	59.26
Ca/P ratio	1.5	4.12	1.69	1.23	1.75	40.70	60.10
	2.0	4.03	0.94	1.30	2.06	52.05	70.05
P 值 *P*-value	组别 Group	0.521 4	0.838 5	0.404 3	0.458 6	0.612 4	0.704 9
	磷水平 P level	0.576 3	0.436 5	0.572 5	0.983 0	0.959 0	0.705 3
	钙磷比 Ca/P ratio	0.787 1	0.417 3	0.411 9	0.343 6	0.118 8	0.211 8
	交互作用 Interaction	0.220 7	0.926 7	0.209 3	0.230 6	0.790 1	0.829 4

2.4 饲粮不同磷水平和钙磷比对冬毛期水貂钙、磷代谢的影响

由表 5 可知，随着饲粮磷水平的升高，粪钙含量随之增加，组间差异极显著（$P<0.01$）；随着饲粮钙磷比的升高，粪钙含量先升高后降低。Ⅷ组粪钙含量最高，显著或极显著高于除Ⅸ组外的其他各组（$P<0.05$ 或 $P<0.01$）；Ⅲ组粪钙含量最低，较Ⅷ组降低了 152%。随着饲粮磷水平的升高，粪磷含量随之增加，组间差异显著或极显著（$P<0.05$ 或 $P<0.01$）。饲粮钙磷比为 2.0 时粪磷含量最低，极显著低于饲粮钙磷比为 1.0 和 1.5 时（$P<0.01$）。Ⅷ、Ⅸ组粪磷含量显著或极显著高于除Ⅶ组外的其他各组（$P<0.05$ 或 $P<0.01$）；Ⅲ组粪磷含量最低，较Ⅷ组降低了 128%。饲粮磷水平和钙磷比极显著影响钙消化率（$P<0.01$）。随着饲粮磷水平的升高，钙消化率先极显著升高（$P<0.01$），随后极显著降低（$P<0.01$）。随着饲粮钙磷比的升高，钙消化率极显著升高（$P<0.01$）。Ⅲ组钙消化率最高，极显著高于除Ⅵ和Ⅸ组外的其他各组（$P<0.01$）；Ⅰ、Ⅳ、Ⅶ组钙消化率显著或极显著低于其他组（$P<0.05$ 或 $P<0.01$）。饲粮磷水平和钙磷比对磷消化率影响不显著（$P>0.05$），但二者的交互作用对磷消化率有显著

影响（P<0.05）。磷消化率以Ⅰ组最低，III组最高，III组显著高于Ⅰ、Ⅱ组（P<0.01）。

表 5　饲粮不同磷水平和钙磷比对冬毛期水貂钙、磷代谢的影响

Table 5　Effects of different dietary P levels and Ca/P ratios on Ca and P metabolism of minks during winter fur-growing period

项目 Items		粪钙 Fecal Ca/(g/d)	粪磷 Fecal P/(g/d)	钙消化率 Ca digestibility/%	磷消化率 P digestibility/%
组别 Groups	Ⅰ	1.15^{BCDef}	0.65^{BCDcd}	-45.70^{Ed}	18.17^{c}
	Ⅱ	1.10^{CDef}	0.60^{CDcd}	10.53^{BCDb}	26.95^{bc}
	Ⅲ	0.86^{Df}	0.46^{Dd}	49.08^{Aa}	45.26^{a}
	Ⅳ	1.29^{BCDefd}	0.66^{BCDcd}	-16.75^{Dc}	40.19^{ab}
	Ⅴ	1.64^{ABCcd}	0.79^{ABCbc}	5.75^{CDb}	31.78^{abc}
	Ⅵ	1.34^{BCDcde}	0.66^{BCDcd}	35.44^{ABa}	36.54^{ab}
	Ⅶ	1.73^{ABbc}	0.92^{Aab}	-17.44^{Dc}	37.55^{ab}
	Ⅷ	2.17^{Aa}	1.05^{Aa}	5.65^{CDb}	31.88^{abc}
	Ⅸ	2.08^{Aab}	1.05^{Aa}	32.53^{ABCa}	31.79^{abc}
磷水平 P level/%	1.0	1.04^{C}	0.57^{Bc}	5.00^{B}	29.93
	1.4	1.46^{B}	0.72^{Bb}	7.71^{A}	35.37
	1.8	1.95^{A}	0.99^{Aa}	2.48^{C}	34.43
钙磷比 Ca/P ratio	1.0	1.41^{ABb}	0.75^{Aa}	-28.15^{C}	30.71
	1.5	1.52^{Aa}	0.76^{Aa}	7.75^{B}	29.73
	2.0	1.32^{Bc}	0.67^{Bb}	40.84^{A}	39.21
P 值 P-value	组别 Group	<0.000 1	<0.000 1	<0.000 1	0.026 8

磷水平 P level	<0.000 1	<0.000 1	0.005 0	0.368 6
钙磷比 Ca/P ratio	<0.000 1	0.000 4	<0.000 1	0.066 5
交互作用 Interaction	0.004 8	0.008 6	0.071 0	0.025 4

3 讨 论

3.1 饲粮不同磷水平和钙磷比对冬毛期水貂生长性能的影响

王晋晋[10]在 0～6 周龄白羽肉鸡钙、磷需要量的研究中发现饲粮钙、磷水平极显著的影响了 0~6 周龄肉鸡的平均日增重和料重比，且饲粮钙、磷水平对平均日增重、平均日采食量和料重比存在极显著的交互作用。本试验中，随着饲粮钙磷比的升高，水貂的平均日增重出现先增加后降低的二次曲线变化趋势，在 1.8%磷水平下，升高饲粮钙水平，平均日增重降低，这是因为饲粮钙过量会使饲粮的适口性变差，降低采食量，进而稀释饲粮中的营养浓度，也不利于其他矿物质元素（如锰、锌）的吸收。低磷饲粮同样会降低采食量[10]，本试验中 1.0% 磷水平组的平均日增重最低，只有 1.4%、1.8%磷水平组的 1/2，说明低磷饲粮影响了水貂的增重。卢菁等[11]研究显示，饲粮中总磷水平（0.381%）偏低时，将降低肉仔鸡的增重和饲料利用率。呙于明等[12]证实，低磷饲粮对肉仔鸡增重的影响与饲粮中钙水平的高低有密切的关系，高钙磷比数量显著降低增重，低钙磷比饲粮则对增重没有显著影响。本试验中，在Ⅴ组（饲粮钙水平 2.08%、磷水平 1.38%）的平均日增重最高，料重比最低，说明低磷低钙低钙磷比饲粮不利于水貂生长，高钙高磷高钙磷比饲粮也不能达到最佳的生长效果。研究发现，在水貂上，饲粮钙磷比为 2 时，这种钙磷比在 7 月至打皮这段时期会导致体重大大降低[13]。但是不同钙、磷水平与钙磷比的饲粮对猪的生长性能指标无显著影响，不同钙、磷水平与钙磷比的交互作用对猪的生长性能指标亦未产生显著影响[14-15]。从生产上来看，钙、磷的营养需要可浮动 30%而不影响动物的生产性能[16]。

3.2 饲粮不同磷水平和钙磷比对冬毛期水貂营养物质消化率的影响

饲粮磷水平和钙磷比对冬毛期水貂营养物质消化率的影响不显著，但是随饲粮磷水平和钙磷比的升高呈现先上升后下降的趋势，这与各组之间生长性能的变化大致一致。随着饲粮中钙水平的升高，脂肪消化率逐渐下降，这是因为一些 2 价金属离子尤其是钙和镁离子会与脂肪酸形成不溶性皂化物[17]，饱和脂肪酸消化率会降低。钙水平的增加同样会影响蛋白质的消化率，Skrede[18]发现鳕鱼的粗灰分含量与蛋白质消化率呈线性相关，每增加 1%的粗灰分会降低 0.6%的氮真消化率。磷参与体内能量代谢，是三磷酸腺苷(ATP)、磷酸肌酸等物质的重要构成成分，也是底物磷酸化的重要参加者。磷的缺乏同样会影响营养物质的消化率。在鱼类中的研究表明饲料磷不足可引起鱼体新陈代谢过程紊乱，造成脂肪沉积[19]。Vielma 等[20]认为饲粮中无机磷缺乏可抑制线粒体外游离脂肪酸和乙酰辅酶 A 发生酯化作用，阻止产生酯酰辅酶 A，导致脂肪作为能量的利用率降低，钙也有类似的作用。

3.3 饲粮不同磷水平和钙磷比对冬毛期水貂氮代谢的影响

各组水貂的氮沉积与生长性能基本一致，III组（饲粮钙水平 1.98%、磷水平 0.99%）氮沉积、净蛋白质利用率、蛋白质生物学价值高于其他组。饲粮磷水平对氮代谢的影响不大。随着钙磷比的升高，氮沉积、蛋白质生物学价值、净蛋白质利用率逐渐升高，当钙磷比为 2.0 时最高，这是因为较高的钙磷比减少了尿氮的排出量，增加了氮的沉积，促进了机体对氮的利用。当钙磷比不是 2.0 时，随着钙水平持续升高，氮沉积则在减少，这与 Shafey 等[21]通过消化代谢试验发现的过高的钙水平可显著降低鸡的氮消化率和代谢能值的结果一致。

3.4 饲粮不同磷水平和钙磷比对冬毛期水貂钙、磷代谢的影响

随着饲粮磷水平的升高，粪磷含量持续增加，磷消化率先升高后下降，出现二次变化趋势，这是因为肠道磷吸收主要有 2 种方式：细胞旁路途径和钠依赖转运途径，磷的主动吸收是需要转运蛋白，这种转运过程会有饱和性，当动物饲粮磷水平较低时，随饲粮磷水平的逐渐升高动物对磷的吸收不断提高[22-24]；磷过量则会超过载体的运载能力，磷不能完全被吸收，

排除体外后污染环境。方热军等[25]研究表明，当饲粮总磷水平从 0.16%提高到 1.10%时，十二指肠、空肠前段和空肠后段钠离子依赖型磷转运载体蛋白Ⅱ mRNA 表达量是依次降低的，说明载体的转运能力在下降，磷的吸收能力也随之下降。

随着饲粮磷水平的升高，粪钙含量持续增加，组间差异极显著，钙消化率则先增加后降低，说明饲粮磷水平可以影响钙的吸收。同时钙的吸收量与机体的需要量是相适应的，当缺乏钙时肠道吸收钙的速度增加，而当体内钙过多时，则钙吸收速度降低。在 1.0%磷水平下，随着饲粮钙水平的升高，磷消化率随之升高；但是在 1.4%、1.8%磷水平下，随着钙水平的升高，磷消化率开始下降，说明磷水平已经满足水貂生长所需，过高的钙水平开始影响磷的吸收，这与 Jongbloed[26]在猪上的研究结果一致。

饲粮中的钙、磷水平必须保持在一个适宜的范围内，钙、磷供给充足但比例不当也会严重影响其吸收利用。这是由于磷酸钙的溶解度积是一个常数，饲粮中钙和磷其中之一过多都会影响另一种元素的吸收，而二者中有一种吸收不足，都会影响骨骼的生成，且多吸收的另一种元素也不能为机体利用，只能排出体外，从而造成不必要的浪费[27]。

4 结 论

综合各项指标，从降低饲料成本、保护环境和维持冬毛期水貂生长性能的角度出发，饲粮磷水平在 1.4%，钙磷比在 1.5～2.0 之间较为适宜。

参考文献：

[1] LEI X G,STAHL C H.Nutritional benefits of phytase and dietary determinants of its efficacy[J].Journal of Applied Animal Research,2000,17(1):97–112.

[2] NOVAK J M,WATTS D W,HUNT P G,et al.Phosphorus movement through a coastal plain soil after a decade of intensive swine manure application[J].Journal of Environmental Quality,2000,29(4):1310–1315.

[3] TILMAN D ,FARGIONE J,WOLFF B,et al.Forecasting agriculturally driven global environmental change[J].Science,2001,292(5515):281–284.

[4] 朱晓英,侯加法.缺磷日粮对笼养蛋鸡生产性能及内分泌的影响[J].中国兽医科技,2004,34(1):62–66.

[5] 陆昌华.母猪日粮中钙、磷比例对生产性能和健康的影响[J].黑龙江畜牧兽医,1982(6):15–18.

[6] QIAN H,KORNEGAY E T,CONNER D E,Jr.Adverse effects of wide calcium:phosphorus ratios on supplemental phytase efficacy for weanling pigs fed two dietary phosphorus levels[J].Journal of Animal Science,1996,74(6):1288–1297.

[7] 李光玉,王凯英,赵靖波.毛皮动物矿物元素的需要[J].经济动物学报,2003,7(4):10–13.

[8] 万春孟,张铁涛,吴学壮,等.饲粮 *L*-精氨酸添加水平对育成期水貂生长性能、营养物质消化率及氮代谢的影响[J].动物营养学报,2015,27(8):2607–2613.

[9] 张铁涛,张志强,刘汇涛,等.饲粮蛋白质水平对冬毛期水貂部分血清生化指标的影响[J].动物营养学报,2011,23(6):1052–1057.

[10] 王晋晋.0～6 周龄白羽肉鸡钙磷需要量的研究[D].硕士学位论文.郑州:河南工业大学,2010.

[11] 卢菁,冯定远,邓跃林.日粮磷水平对肉用小鸡生长性能的影响[J].广东饲料,2000,9(6):15–16.

[12] 呙于明,邵宪萍,丁角立,等.生长后期日粮钙、磷水平对肉仔鸡生产性能及胫骨矿化度的影响[J].中国饲料,1995(13):10–11.

[13] HANSEN N E.Recent advances in the nutrition of fur animals[J].Norwegian Journal of Agricultural Sciences,1992(9):221–231.

[14] 曾其恒.不同磷水平与钙磷比例对特种野猪生产性能、胴体品质、血液指标的影响研究[D].硕士学位论文.南宁:广西大学,2008.

[15] 李佳,解鹏,吴东波,等.日粮不同磷水平和钙磷比对生长肥育猪生产性能的影响[J].兽药与饲料添加剂,2006,11(4):3–4.

[16] 李德发.猪的营养[M].2 版.北京:中国农业科学技术出版社,2005.

[17] FREEMAN C P.The digestion,absorption and transport of fats-non-ruminants[M]//WISEMAN J.Fats in animal nutrition.Amsterdam:Elsevier,1984:105–122.

[18] SKREDE A.Utilization of fish and animal byproducts in mink nutrition[J].Acta Agriculturae Scandinavica,1978,29(2):130-140.

[19] LALL S P.5-The minerals[M]//HALVER J E,HARDY R W.Fish nutrition.Amsterdam:Elsevier,2003:259–308.

[20] VIELMA J,KOSKELA J,RUOHONEN K.Growth,bone mineralization,and heat and low oxygen tolerance in European whitefish (*Coregonus lavaretus* L.) fed with graded levels of phosphorus[J].Aquaculture,2002,212(1/2/3/4):321–333.

[21] SHAFEY T M,MCDONALD M W.The effects of dietary calcium,phosphorus,and protein on the performance and nutrient utilization of broiler chickens[J].Poultry Science,1991,70(3):548–553.

[22] DELLAERT N P,FRENK J B G,KOUWENHOVEN A,et al.Optimal claim behaviour for third-party liability insurances or to claim or not to claim:that is the question[J].Insurance:Mathematics and Economics,1990,9(1):59–76.

[23] KETAREN P P,BATTERHAM E S,DETTMANN E B,et al.Phosphorus studies in pigs.2.assessing phosphorus availability for pigs and rats[J].The British Journal of Nutrition,1993,70(1):269–288.

[24] SEYNAEVE M,JANSSENS G,HESTA M,et al.Effects of dietary Ca/P ratio,P level and microbial phytase supplementation on nutrient digestibilities in growing pigs:breakdown of phytic acid,partition of P and phytase activity along the intestinal tract[J].Journal of Animal Physiology and Animal Nutrition,2000,83(4/5):193–204.

[25] 方热军,贺佳,曹满湖,等.日粮磷水平对肉鸡磷代谢及 *Na/Pi-*Ⅱ*b* 基因 mRNA 表达的影响[J].畜牧兽医学报,2011,42(2):289–296.

[26] JONGBLOED A W.Phosphorus in the feeding of pigs.Effect of diet in the absorption and retention of phosphorus by growing pigs[D].Ph.D. Thesis.Netherlands:University of Wageningen,1987.

[27] 陈祖鸿,汪水平,彭祥伟,等.肉鸭钙和磷营养研究进展[J].中国家禽,2014,36(8):43–47.

Effects of Different Dietary Phosphorus Levels and Calcium/Phosphorus Ratios on Growth Performance, Nutrient Digestibility, and Nitrogen, Calcium and Phosphorus Metabolism of Minks during Winter Fur-Growing Period

LIU Shuai[1] ZHANG Tietao[1] XING Jingya[1] LI Xintong[1] CHEN Mingshuai[1] SUN Haoran[1] YUE Zhigang[1] YANG Fuhe[1*]

(*State Key Laboratory for Molecular Biology of Special Economic Animals, Institute of Special Wild Economic Animals and Plants, Chinese Academy of Agricultural Sciences, Changchun* 130112, *China)*

Abstract: This study was conducted to study the effects of different dietary phosphorus levels and calcium/phosphorus ratios on growth performance, nutrient digestibility, and nitrogen, calcium and phosphorus metabolism of minks during winter fur-growing period. Ninety healthy female minks at the age of （130±10） days with the similar body weight were randomly divided into 9

*Corresponding author, professor, E-mail： yangfh@126.com (责任编辑 菅景颖)

groups with 10 replicates each and 1 mink per replicate. Nine experimental diets were formulated by using 3×3 double factorial experiment design, firstly, setting 3 phosphorus levels: 1.0%, 1.4% and 1.8%; secondly, setting 3 calcium/phosphorus ratios: 1.0, 1.5 and 2.0. The minks in 9 groups were fed experimental diets with 1.03% calcium and 0.97% phosphorus （group Ⅰ）, 1.47% calcium and 0.98% phosphorus (group Ⅱ）, 1.98% calcium and 0.99% phosphorus （group Ⅲ）, 1.45% calcium and 1.37% phosphorus (group Ⅳ), 2.08% calcium and 1.38% phosphorus （group Ⅴ）, 2.79% calcium and 1.38% phosphorus （group Ⅵ）, 1.81% calcium and 1.75% phosphorus (group Ⅶ), 2.70% calcium and 1.79% phosphorus （group Ⅷ） and 3.59% calcium and 1.80% phosphorus（group Ⅸ）. The adaptation period lasted for 10 days and the formal period lasted for 67 days. The results showed as follows: 1) dietary phosphorus level and calcium/phosphorus ratio had significant effects on the final weight, average daily gain (P<0.01), and interaction of them was also significant (P<0.01). The final weight and average daily gain in group Ⅴ was significantly higher than those in other groups (P<0.01). 2) The dry matter digestibility, fat digestibility and protein digestibility had the same trend of firstly increase and then decrease, and the highest values of them all appeared at the group Ⅲ. 3) Dietary phosphorus level, calcium/phosphorus ratio and the interaction of them had no significant effects on nitrogen intake, urine nitrogen, fecal nitrogen, nitrogen retention, biological value of protein and net protein utilization (P>0.05). 4) The content of fecal calcium was increased with the dietary phosphorus level increasing, and the difference was significant among all groups (P<0.01). The content of fecal calcium in group Ⅷ and Ⅸ was significantly higher than that in other group (P<0.05 or P<0.01). The content of fecal phosphorus was increased with the dietary phosphorus level increasing, and the difference was significant among all groups (P<0.05 or P<0.01). When the calcium/phosphorus ratio was 2.0, the content of fecal phosphorus was the lowest, and the

difference was significant compared with when the calcium/phosphorus ratio were1.0 and 1.5 ($P<0.01$). The content of fecal phosphorus in groups Ⅷ and Ⅸ was significantly higher than that in other groups except group Ⅶ ($P<0.05$ or $P<0.01$). Dietary phosphorus level and calcium/phosphorus ratio had significant effect on calcium digestibility ($P<0.01$), and the calcium digestibility was significantly increased with dietary calcium and phosphorus ratio increasing ($P<0.01$). The calcium digestibility in group Ⅲ was the highest, and significantly higher than that in other groups except groups Ⅵ and Ⅸ ($P<0.01$). Dietary phosphorus level and calcium/phosphorus ratio had no significant effect on phosphorus digestibility ($P>0.05$), but the interaction of them had significant effect on phosphorus digestibility ($P<0.05$). The lowest phosphorus digestibility was found in group Ⅰ, and the highest phosphorus digestibility was found in group Ⅲ. Comparing all measured indices, dietary 1.4% phosphorus level and 1.5 to 2.0 calcium-phosphorus ratios are considered to be optimal supplemental levels for minks during winter fur-growing period in terms of reducing feed expenses, protecting the environment and maintaining growth performance.

Key words: calcium/phosphorus ratio; minks; growth performance; nitrogen metabolism; calcium metabolism; phosphorus metabolism